

本节内容

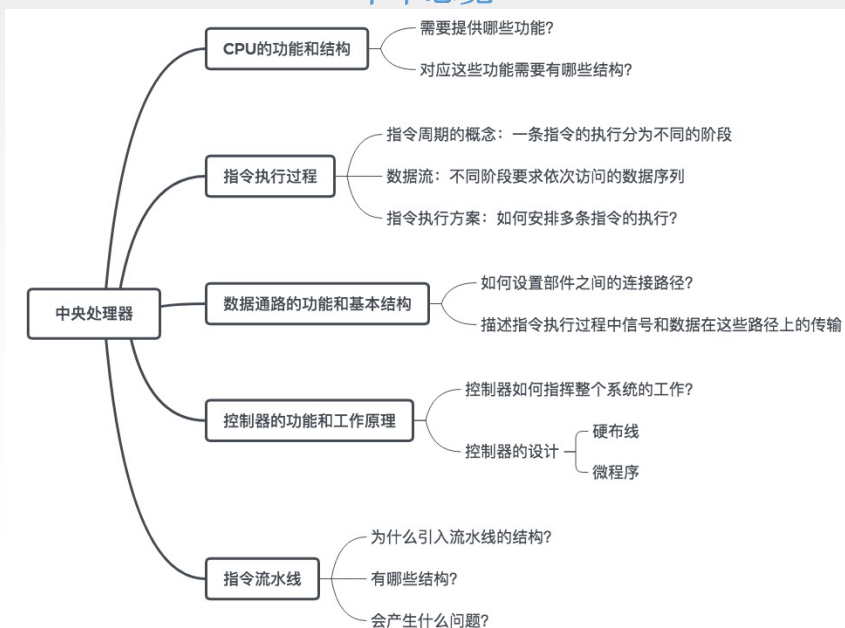
控制器设计

硬布线控制器

王道考研/CSKAOYAN.COM

1

本章总览



王道考研/CSKAOYAN.COM

2

根据 指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

内容回顾

CU发出一个微命令，可完成对应微操作。
如：微命令1使得 PC_{out} 、 MAR_{in} 有效。
完成对应的微操作1 ($PC \rightarrow MAR$)

高级语言代码
高级语言代码

指令1
指令2
指令3
指令4
指令5
指令6

取指周期 ($FE=1$)
间指周期 ($IND=1$)
执行周期 ($EX=1$)
中断周期 ($INT=1$)

T_0 : 微操作1、微操作2
 T_1 : 微操作3
 T_2 : 微操作4

T_0 : 微操作5、微操作2
 T_1 : 微操作6
 T_2 : 微操作7

T_0 :
 T_1 : 微操作8
 T_2 : 微操作9、微操作6

T_0 :
 T_1 : 微操作10
 T_2 : 微操作11

一个节拍内可以并行完成多个“相容的”微操作

同一个微操作可能在不同指令的不同阶段被使用

不同指令的执行周期所需节拍数各不相同。为了简化设计，选择定长的机器周期，以可能出现的最大节拍数为准（通常以访存所需节拍数作为参考）

若实际所需节拍数较少，可将微操作安排在机器周期末尾几个节拍上进行

1 → FE 1 → IND 1 → EX 1 → INT

王道考研/CSKAOYAN.COM

3

所有指令的取指周期、 T_0 节拍下一定要完成($PC \rightarrow MAR$)。则可知 $C_1 = FE \cdot T_0$

Tips: 逻辑表达式是电路的数字化描述

硬布线控制器

指令寄存器IR
n位操作码
操作码译码器
 $0, 1, \dots, 2^n-1$
FE、IND、EX、INT（事实上这四个触发器集成在CU内部）
标志(来自执行单元的反馈信息)
可能来自运算器的PSW、ACC的符号位等；也可能来自I/O设备、主存

每个时钟周期发出一个节拍信号（循环发出）

每个输出的控制信号对应一个微命令，也就是对应一个微操作

如：要让 C_1 对应微操作 ($PC \rightarrow MAR$)，则将其接到 PC_{out} 、 MAR_{in} 即可

王道考研/CSKAOYAN.COM

4

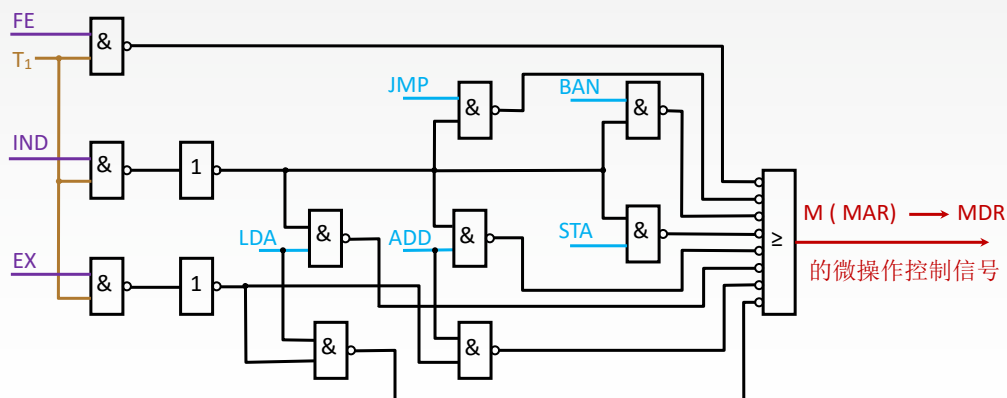


颤抖吧！感受恐惧！



注：一般不考电路，莫慌~

$M(MAR) \rightarrow MDR$ 微操作命令的逻辑表达式：
 $FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1(ADD+STA+LDA+JMP+BAN) + EX \cdot T_1(ADD+LDA)$



根据 指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定
 现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

王道考研/CSKAOYAN.COM

5

硬布线控制器的设计

设计步骤：

确定哪些指令在什么阶段、在什么条件下会使用到的微操作

1. 分析每个阶段的微操作序列（取值、间址、执行、中断四个阶段）

2. 选择CPU的控制方式

采用定长机器周期还是不定长机器周期？每个机器周期安排几个节拍？

3. 安排微操作时序

如何用3个节拍完成整个机器周期内的所有微操作？

4. 电路设计

确定每个微操作命令的逻辑表达式，并用电路实现

假设采用同步控制方式（定长机器周期），一个机器周期内安排3个节拍。

安排，必须安排



王道考研/CSKAOYAN.COM

6

注：中断周期内的微操作序列就不分析了，原理类似

分析每个阶段的微操作序列

取指周期（所有指令都一样）

PC → MAR

1 → R

M (MAR) → MDR

MDR → IR

OP (IR) → ID

(PC) + 1 → PC

注：ID 是指令译码器
Instruction Decoder

间址周期（所有指令都一样）

Ad(IR) → MAR

1 → R

M (MAR) → MDR

MDR → Ad(IR)

执行周期（各不相同）

CLA

clear ACC 指令
ACC清零

LDA X

取数指令，
把X所指内容
取到ACC

JMP X

无条件转移

BAN X

Branch ACC Negative
条件转移，当ACC为负时转移

0 → AC

注：很多地方把
ACC简写为AC

Ad (IR) → MAR

1 → R

M (MAR) → MDR

MDR → AC

负数符号位为1

$A_0 \bullet Ad (IR) + \overline{A_0} \bullet (PC) \rightarrow PC$

罗列出**所有**指令在各个阶段的微操作序列，就可以知道在什么情况下需要使用这个微操作

根据 **指令操作码**、**目前的机器周期**、**节拍信号**、**机器状态条件**，即可确定现在这个节拍下**应该发出哪些“微命令”**

王道考研/CSKAOYAN.COM

7

安排微操作时序的原则

原则一 微操作的 **先后顺序不得** 随意 **更改**

原则二 **被控对象不同** 的微操作

尽量安排在 **一个节拍** 内完成

原则三 占用 **时间较短** 的微操作

尽量 安排在 **一个节拍** 内完成

并**允许**有先后顺序

王道考研/CSKAOYAN.COM

8

安排微操作时序-取指周期

原则一	微操作的先后顺序不得随意更改	(1) $PC \rightarrow MAR$	
原则二	被控对象不同的微操作	(2) $1 \rightarrow R$	存储器空闲即可
	尽量安排在一个节拍内完成	(3) $M(MAR) \rightarrow MDR$	在(1)之后
原则三	占用时间较短的微操作	(4) $MDR \rightarrow IR$	在(3)之后
	尽量安排在一个节拍内完成	(5) $OP(IR) \rightarrow ID$	在(4)之后
	并允许有先后顺序	(6) $(PC) + 1 \rightarrow PC$	在(1)之后

王道考研/CSKAOYAN.COM

9

安排微操作时序-取指周期

原则一	微操作的先后顺序不得随意更改	T_0 (1) $PC \rightarrow MAR$	
原则二	被控对象不同的微操作	T_0 (2) $1 \rightarrow R$	存储器空闲即可
	尽量安排在一个节拍内完成	T_1 (3) $M(MAR) \rightarrow MDR$	在(1)之后
原则三	占用时间较短的微操作	T_1 (6) $(PC) + 1 \rightarrow PC$	在(1)之后
	尽量安排在一个节拍内完成	T_2 (4) $MDR \rightarrow IR$	在(3)之后
	并允许有先后顺序	T_2 (5) $OP(IR) \rightarrow ID$	在(4)之后

两个微操作占用时间较短，根据原则三安排在一个节拍

$M(MAR) \rightarrow MDR$ 从主存取数据，用时较长，因此必须一个时钟周期才能保证微操作的完成

$MDR \rightarrow IR$ 是CPU内部寄存器的数据传送，速度很快，因此在一个时钟周期内可以紧接着完成 $OP(IR) \rightarrow ID$ 。也就是可以一次同时发出两个微命令。

王道考研/CSKAOYAN.COM

10

安排微操作时序-间址周期

原则一	微操作的先后顺序不得随意更改	T_0	(1) $Ad(IR) \rightarrow MAR$
原则二	被控对象不同的微操作	T_0	(2) $1 \rightarrow R$
	尽量安排在一个节拍内完成	T_1	(3) $M(MAR) \rightarrow MDR$
原则三	占用时间较短的微操作	T_2	(4) $MDR \rightarrow Ad(IR)$
	尽量安排在一个节拍内完成		
	并允许有先后顺序		

王道考研/CSKAOYAN.COM

11

安排微操作时序-执行周期

原则一	微操作的先后顺序不得随意更改	① CLA	T_0	
原则二	被控对象不同的微操作	clear	T_1	
	尽量安排在一个节拍内完成	ACC清零	T_2	$0 \rightarrow AC$
原则三	占用时间较短的微操作	② COM	T_0	
	尽量安排在一个节拍内完成	complement	T_1	
	并允许有先后顺序	ACC取反	T_2	$\overline{AC} \rightarrow AC$
		③ SHR	T_0	
		shift	T_1	
		算术右移	T_2	$L(AC) \rightarrow R(AC)$
			T_2	$AC_0 \rightarrow AC_0$
		④ CSL	T_0	
		cyclic shift	T_1	
		循环左移	T_2	$R(AC) \rightarrow L(AC), AC_0 \rightarrow AC_n$
		⑤ STP	T_0	
		stop	T_1	
		停机	T_2	$0 \rightarrow G$

王道考研/CSKAOYAN.COM

12

安排微操作时序-执行周期

(1) 非访存指令

- ① CLA T_0
clear T_1
ACC清零 T_2 $0 \rightarrow AC$
- ② COM T_0
complement T_1
ACC取反 T_2 $\overline{AC} \rightarrow AC$
- ③ SHR T_0
shift T_1
算术右移 T_2 $L(AC) \rightarrow R(AC)$
 T_2 $AC_0 \rightarrow AC_0$

- ④ CSL T_0
cyclic shift T_1
循环左移 T_2 $R(AC) \rightarrow L(AC)$, $AC_0 \rightarrow AC_n$
- ⑤ STP T_0
stop T_1
停机 T_2 $0 \rightarrow G$

(2) 访存指令

- ⑥ ADD X T_0 $Ad(IR) \rightarrow MAR$, $1 \rightarrow R$
加法指令 T_1 $M(MAR) \rightarrow MDR$
隐含ACC T_2 $(AC) + (MDR) \rightarrow AC$
- ⑦ STA X T_0 $Ad(IR) \rightarrow MAR$, $1 \rightarrow W$
存数指令 T_1 $AC \rightarrow MDR$
隐含ACC T_2 $MDR \rightarrow M(MAR)$
- ⑧ LDA X T_0 $Ad(IR) \rightarrow MAR$, $1 \rightarrow R$
取数指令 T_1 $M(MAR) \rightarrow MDR$
隐含ACC T_2 $MDR \rightarrow AC$

(3) 转移指令

- ⑨ JMP X T_0
jump T_1
无条件转移 T_2 $Ad(IR) \rightarrow PC$
- ⑩ BAN X T_0
Branch ACC T_1
Negative T_2 $A_0 \cdot Ad(IR) + \overline{A_0} \cdot (PC) \rightarrow PC$
条件转移

王道考研/CSKAOYAN.COM

13

安排微操作时序-中断周期

原则一 微操作的先后顺序不得随意更改

 T_0 (1) $a \rightarrow MAR$

原则二 被控对象不同的微操作

 T_0 (2) $1 \rightarrow W$

存储器空闲即可

尽量安排在一个节拍内完成

 T_0 (3) $0 \rightarrow EINT$

硬件关中断

原则三 占用时间较短的微操作

 T_1 (4) $(PC) \rightarrow MDR$

内部数据通路空闲即可

尽量安排在一个节拍内完成

 T_2 (5) $MDR \rightarrow M(MAR)$

在(3)之后

并允许有先后顺序

 T_2 (6) 向量地址 $\rightarrow PC$

在(3)之后

这些操作由中断隐指令完成

注：中断隐指令不是一条指令，而是指一条指令的中断周期由硬件完成的一系列操作

设计步骤：

1. 分析每个阶段的微操作序列
2. 选择CPU的控制方式
3. 安排微操作时序
4. 电路设计

中断周期的三个任务：

1. 保存断点
2. 形成中断服务程序的入口地址
3. 关中断

王道考研/CSKAOYAN.COM

14

组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

列出在取指、间址、执行、中断周期，T₀、T₁、T₂ 节拍内有
可能用到的所有微操作

2. 写出微操作命令的最简表达式

3. 画出逻辑图

王道考研/CSKAOYAN.COM

15

组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

非访存指令

工作周期 标记	节拍	状态 条件	微操作命令信号	CLA	COM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
FE 取指	T ₀		PC → MAR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			1 → R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	T ₁		M(MAR) → MDR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			(PC) + 1 → PC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	T ₂		MDR → IR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			OP(IR) → ID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		I	1 → IND						1	1	1	1	1
		\bar{I}	1 → EX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

间址特征

王道考研/CSKAOYAN.COM

16

组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

非访存指令

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
IND 间址	T ₀		Ad(IR) → MAR						1	1	1	1	1
			1 → R						1	1	1	1	1
	T ₁		M(MAR) → MDR						1	1	1	1	1
	T ₂	\overline{IND}	MDR → Ad(IR)						1	1	1	1	1
			1 → EX						1	1	1	1	1

间址周期标志

王道考研/CSKAOYAN.COM

17

组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

2. 写出微操作命令的最简表达式

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
EX 执行	T ₀		Ad(IR) → MAR			1	1	1		
			1 → R			1		1		
			1 → W				1			
	T ₁		M(MAR) → MDR			1		1		
			AC → MDR				1			
	T ₂		(AC) + (MDR) → AC			1				
			MDR → M(MAR)				1			
			MDR → AC					1		
			0 → AC	1						
			$\overline{AC} \rightarrow AC$		1					
			Ad(IR) → PC						1	
			Ad(IR) → PC							1
	A ₀		Ad(IR) → PC							1

王道考研/CSKAOYAN.COM

18

微操作信号综合

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	SHR	CSL	STP	ADD	STA	LDA	JMP	BAN
FE 取指	T ₀		PC → MAR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			1 → R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	T ₁		M(MAR) → MDR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IND 间址	T ₁		M(MAR) → MDR						1	1	1	1	1
		EX 执行								1			
	T ₁		1 → W										
			M(MAR) → MDR						1		1		

M(MAR) → MDR微操作命令的逻辑表达式:

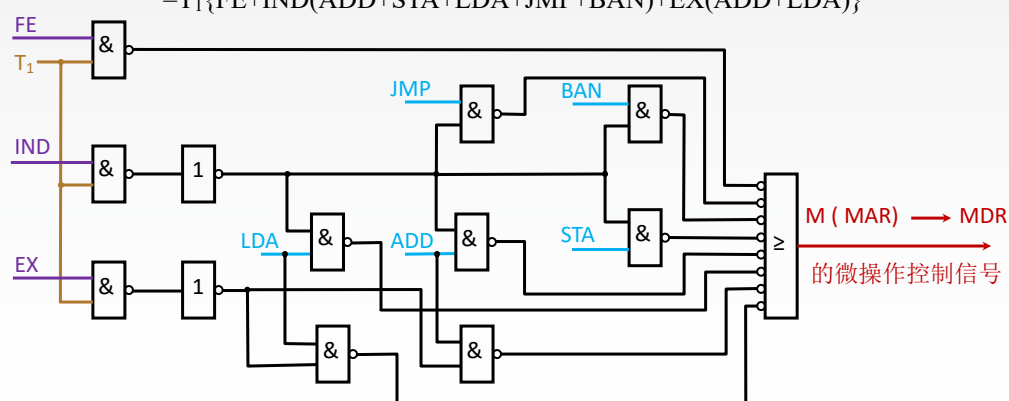
$$FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1 (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) + EX \cdot T_1 (ADD + LDA) \\ = T_1 \{ FE + IND(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) + EX(ADD + LDA) \}$$

王道考研/CSKAOYAN.COM

19

画出逻辑图

M(MAR) → MDR微操作命令的逻辑表达式:
 $FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1 (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) + EX \cdot T_1 (ADD + LDA)$
 $= T_1 \{ FE + IND(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) + EX(ADD + LDA) \}$



根据指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定
 现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

王道考研/CSKAOYAN.COM

20

硬布线控制器的设计

设计步骤：

1. 分析每个阶段的微操作序列
2. 选择CPU的控制方式
3. 安排微操作时序
4. 电路设计
 - (1) 列出操作时间表
 - (2) 写出微操作命令的最简表达式
 - (3) 画出逻辑图

硬布线控制器的特点：

指令越多，设计和实现就越复杂，因此一般用于 RISC（精简指令集系统）

如果扩充一条新的指令，则控制器的设计就需要大改，因此扩充指令较困难。

由于使用纯硬件实现控制，因此执行速度很快。微操作控制信号由组合逻辑电路即时产生。

王道考研/CSKAOYAN.COM

21



@王道论坛



@王道计算机考研备考



@王道咸鱼老师-计算机考研

@王道楼楼老师-计算机考研



@王道计算机考研



等撩

知乎

@王道计算机考研

微信视频号

@王道计算机考研

微信公众平台

@王道在线

22